

SAIFA. Una aplicación Web para la gestión de la producción integrada del cultivo del olivo

Samuel Túnez^{1,*}, Francisco Javier Orellana¹, José del Sagrado¹, Isabel María del Águila¹

Departamento de Lenguajes y Computación. Universidad de Almería, Ctra. Sacramento s/n, 04120 Almería, Spain

Abstract

Uno de los requisitos esenciales en las actuales explotaciones agrícolas es la necesidad de evolucionar hacia técnicas de cultivo que hagan un uso mas eficiente de los recursos productivos en busca de la sostenibilidad y el respeto por el medioambiente. El control de plagas es uno de los factores mas importantes a tener en cuenta, debido a las importantes perdidas que se pueden producir debido a las plagas. La producción integrada para el cultivo del olivo define un conjunto de normas que han de seguirse para asegurar una producción de alta calidad y que apueste por el respeto al medioambiente en las producciones olivareras. En este trabajo se presenta el sistema SAIFA (Sistema de Alerta e Información Fitosanitaria Andaluz), una aplicación Web que permite la monitorización de la producción integrada del cultivo de olivo en Andalucía. SAIFA es ha sido desarrollada para asistir a los técnicos agrícolas en el cumplimiento de los estándares de calidad de la producción integrada, también permite a quienes son responsables de los procesos de toma de decisiones seleccionara las acciones a realizar sobre el cultivo. También ayuda a que los coordinadores a que seleccionen la estrategia de la producción integrada aplicable a toda la region, con el objetivo de asegurar la salubridad de los cultivos y a generar los informes necesarios para las agencias y autoridades relacionadas con la Producción Integrada

Keywords:

Cultivo del olivo, Sistemas basados en conocimiento, Producción integrada, Control de plagas, Georreferenciación

1. Introducción

En la actualidad, la producción olivarera juega un papel importante no sólo para los productos que proporciona a la industria alimentaria, tales como aceitunas y aceite de oliva, sino también por la amplia variedad de productos derivados de este cultivo, tales como cosméticos o productos para uso doméstico y o industrial.

La región mediterránea tiene una larga tradición en la producción y el consumo de aceite de oliva, y en general, de la producción olivarera. Prueba de ello es que España, Italia y Grecia actualmente son los mayores productores de aceite de oliva en le mundo, generando mas de 70% de la producción total (IOC, 2009). España ocupa la primera posición en el sector con 1 millón

*Autor de referencia. Tel.: +34 950 015020 ; fax: +34 950 015129

Email address: stunez@ual.es (Samuel Túnez)

de toneladas (MAPA, 2009)), dedicando alrededor de 2.500.000 hectáreas a este cultivo. La superficie ocupada se dedica tanto a la aceituna para aceite (93%) como a la aceituna de mesa (7%). Dentro de España, Andalucía ocupa el primer puesto como productor de aceite de oliva, con un 80% del total de la producción de olivo en España (Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 2009).

En la agricultura, el control de plagas es una tarea que requiere un gran esfuerzo debido a las pérdidas que puede causar la mala gestión de las plagas. Esto se hace particularmente evidente en el sur de España donde los factores climáticos favorecen la aparición de patógenos. En 1996, se creó una red de alertas en Andalucía (conocida como RAIF - Red de Alerta e Información Fitosanitaria (RAIF, 2010)) con el objetivo de controlar la evolución de los patógenos en los cultivos. La RAIF pertenece a la Dirección General de Producción Agraria de la Junta de Andalucía, una organización cuyo principal objetivo es supervisar el estado fitosanitario de los principales cultivos de la región para obtener información sobre plagas y enfermedades, realización de actuaciones especiales (por ej: enviar alertas de plagas, hacer cambios en la planificación ...) y obtener una visión global del estado del cultivo durante una campaña. En el nivel operativo, los técnicos de campo son los encargados de recoger y almacenar la información sobre la evolución del cultivo, mientras que en el nivel táctico los coordinadores de la RAIF controlan los cultivos gracias a los datos recolectados.

La producción integrada define un conjunto de principios y reglas cuyo objetivo principal es obtener una producción de calidad gracias a la utilización eficiente de los distintos elementos productivos, teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad y protección ambiental. La normativa publicada por las autoridades establece el conjunto de reglamentos específicos para cada cultivo, donde se define el ciclo completo de la producción, las prácticas recomendadas y obligatorias y las actuaciones prohibidas. El técnico de campo es quien se encarga de aplicar estos reglamentos durante la supervisión de las parcelas. Durante la campaña, todas las acciones deben ser registradas y documentadas, incluyendo las razones que han llevado al técnico a recomendarlas. Por lo tanto es necesario incluir en el actual sistema productivo un sistema de gestión de la información puesto que cualquier acción realizada en el cultivo tiene que ser validada por los datos recogidos por los técnicos. De acuerdo con la actual normativa de la producción integrada del olivo en Andalucía, el riesgo asociado a una plaga o enfermedad debe ser analizado periódicamente mediante la realización de inspecciones en el cultivo. Estas inspecciones tienen que medir el tamaño de la población de plagas en cada parcela, la evolución de la propia plaga y de la fauna auxiliar, la fenología del cultivo y el tiempo.

SAIFA (Sistema de Alerta e Información Fitosanitaria Andaluz) permite la incorporación de una aplicación software a este complejo proceso, lo que supone una ventaja competitiva y una mejora en las tareas realizadas dentro del sistema de producción agrícola (Cañadas et al., 2002; Gonzalez-Andujar et al., 2006). Además la incorporación de un sistema de información geográfica en SAIFA permite la representación de la información utilizando mapas, que facilita la interacción y supone un gran valor añadido tanto para técnicos como para coordinadores, especialmente en el control de plagas (Xia et al., 2009; Blauth and Ducati, 2010).

El trabajo descrito en este informe presenta SAIFA, una aplicación basada en la Web para el apoyo a la gestión de la producción integrada en el cultivo del olivo. Esta aplicación tiene dos objetivos: por una parte, ayuda a las tareas del técnico de campo, especialmente en la formalización del protocolo de la RAIF mediante procesos de validación de los datos de entrada y ofreciendo soporte para los procesos de toma de decisiones acerca de los tratamientos realizados en el cultivo. Por otra parte SAIFA ofrece a los coordinadores utilidades para globalizar los datos recogidos, pudiendo generar una perspectiva global de todo el cultivo del olivo y generando información

útil para mejorar la calidad de la producción, reducir los niveles de infestación de las plagas y comprobar el cumplimiento de las normativas de producción integrada.

Este informe se estructura en cuatro secciones, la primera describe los procesos implicados en la producción integrada. La sección 3 presenta la arquitectura adoptada por el sistema SAIFA y describe la aplicación desde el punto de vista del técnico y del coordinador. La sección 4 se ocupa del proceso de evaluación de la herramienta y la sección 5 resumen las principales conclusiones y trabajos futuros.

2. Producción Integrada

Desde el punto de vista de la producción integrada, un cultivo es un agroecosistema complejo y heterogéneo, constituido por vegetales, animales y microorganismos. Cada componente tiene sus propias funciones e interrelaciones que proporcionan estabilidad y definen el comportamiento de todo el sistema (Gliessman, 2006). La monitorización efectiva de todo el sistema sería un buen mecanismo para la mejora de los resultados obtenidos por los procesos de producción agrícola.

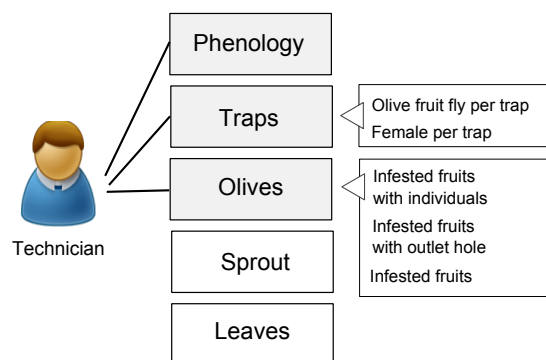


Figure 1: Datos recolectados para la plaga Dacus Oleae

Los reglamentos específicos de la producción integrada para el cultivo del olivo contiene la información básica para poner en práctica la producción integrada y contiene dos partes fundamentales: prácticas agronómicas (incluyendo las medidas obligatorias, recomendadas y prohibidas) y las estrategias de control integrado. Este reglamento específico suele cambiar cuando los avances tecnológicos lo hacen necesario.

El protocolo de producción integrada para el cultivo del olivo promovido por la RAIF en Andalucía sigue una estrategia de producción integrada basada en tres pasos básicos: inspección, identificación y tratamiento. La inspección y la identificación la realizan los técnicos de campo durante las visitas periódicas a las parcelas. Cada visita implica la recogida de una gran cantidad de información sobre el cultivo, que tiene por objetivo identificar y medir la presencia de patógenos así como decidir acerca de la necesidad de aplicar un tratamiento o cualquier otra operación. Este proceso puede realizarse una vez por semana, especialmente en periodos críticos, y cada visita requiere la observación y anotación de diversos aspectos relacionados con el estado del cultivo: fenología de los árboles, nivel de presencia en trampas, eficacia de la fauna beneficiosa, estado de sprouts o nivel de infestación en los frutos. Según la época del año, puede ser necesario centrar la atención en una plaga concreta dependiendo de su ciclo biológico o de factores climáticos que favorezcan su aparición.

Por ejemplo, el actual protocolo dicta que la mosca del olivo (*Dacus Oleae*) debe ser muestreada desde Mayo a Noviembre, mientras que la presencia de la scale black (*Saissetia Oleae*) sólo se observa en Junio. La mosca del olivo se muestrea con la observación de trampas amarilla para hacer una estimación de la expansión de su presencia. Además es necesario observar el número de adultos parasitados tal como se muestra en 1. No es un trabajo simple, puesto que los técnicos debe recoger gran cantidad de datos, e incluso se pueden considerar cambios en el calendario de muestreo.

El siguiente paso realizado por los técnicos es la prescripción de las intervenciones a realizar sobre el cultivo. Una intervención puede ser la realización de cierto tipo de operación sobre el cultivo (riego, fertilización, poda,...) o bien la aplicación de un tratamiento de control de plagas. En el primer caso las operaciones sobre el cultivo se deben realizar periódicamente y están sujetas a los reglamentos de la producción integrada cuyo principal objeto es la protección medioambiental. En relación con las operaciones de riego, el consumo de agua está limitado y la fertilización limita la cantidad de producto a utilizar para evitar daños en el suelo. Las intervenciones de tratamiento consisten en la aplicación de pesticidas o la suelta controlada de fauna útil para luchar contra la aparición de un patógeno o bien para prevenir la aparición de algún patógeno. El protocolo sólo permite la aplicación de un tratamiento cuando los datos recolectados por el técnico de campo durante la visita realizada al cultivo supera un umbral determinado. Si esto ocurre los técnicos están autorizados a recomendar un tratamiento y deciden en base a su conocimiento si este es necesario o no así como el tipo de tratamiento aplicar.

Table 1: Criterios de observación de las principales plagas

Plaga	Unidad muestreo	Técnica	Tamaño
<i>Bactrocera oleae</i>	frutos y trampas	frutos infestados individuos	3 trampas, 20 árboles x 20 frutos
<i>Euzophera pinguis</i>	árboles y trampas	excrementos e individuos	20 árboles , 3 trampas
Prays (anthophagous)	inflorescencias	daño en inflorescencias e individuos	20 árboles x 10 brotes x 2 inflorescencias
Prays (carpophagous)	frutos	individuos	20 árboles x 10 brotes x 2 frutos
Prays (phyllophagous)	sprouts	individuos	20 árboles
<i>Saissetia</i>	brotes	individuos	20 árboles x 10 brotes
<i>Spilocea oleogina</i>	hojas	presencia en hojas	20 árboles x 10 brotes x 2 hojas
<i>Verticillium dahliae</i>	árbol	presencia en árbol	400 árboles

El proceso de seguimiento del protocolo de producción integrada descrito implica la gestión de un conjunto de datos enorme. La RAIF tiene más de 450 técnicos trabajando en Andalucía y cada técnico se ocupa de un grupo de parcelas cuya superficie total es de unas 2.500 Ha. Además las inspecciones es necesario muestrear una serie de árboles, hojas, brotes y frutos para las diferentes plagas que puede variar de 7 a 12. La tabla 1 la unidad de muestreo, la técnica a utilizar y el tamaño de la muestra para las principales plagas del olivo.

Posteriormente los coordinadores utilizan los datos obtenidos por los técnicos para monitorizar las explotaciones olivereras y realizar las tareas de prevención necesarias para evitar la expansión de las plagas. Actualmente en Andalucía hay 8 coordinadores distribuidos por áreas geográficas.

Las tecnologías de gestión de la información pueden ayudar en la utilización y aplicación de los protocolos de la RAIF, incrementando su efectividad a través de la utilización de una

plataforma común que puede ser utilizada tanto por técnicos como por los coordinadores. Esta plataforma debe ofrecer los mecanismos para analizar y explotar la información recogida, ofreciendo rapidez y agilidad en el sistema de comunicaciones entre estos dos tipos de usuarios.

3. Arquitectura del sistema

La aplicación SAIFA se ha desarrollado como una aplicación WEB porque la producción integrada y el protocolo de la RAIF impone tres requisitos: acceso a la aplicación desde múltiples ubicaciones, almacenamiento centralizado de la información y diferentes tipos de necesidades para cada grupo de usuarios.

Las aplicaciones Web han experimentado un extraordinario progreso en los últimos años. Las actuales tecnologías de desarrollo Web permite construir aplicaciones complejas, incluyendo interfaces intuitivas y muy potentes. Además estas aplicaciones no necesitan que los usuarios instalen ningún software, solo es necesario un navegador Web que está incluido por defecto en los principales sistemas operativos. Puesto que la mayoría de los usuarios están familiarizados con este tipo de entornos, la curva de aprendizaje de la aplicación se suaviza. Finalmente la ventaja que ofrecen las aplicaciones web permitiendo el acceso desde cualquier lugar utilizando una conexión a Internet, hace que esta opción sea la favorita de los técnicos, cuyo lugar de trabajo no es fijo pueden trabajar desde la parcela o desde la oficina.

La aplicación SAIFA se encuadra dentro de los sistemas de asesoramiento basados en Web (Web-based Support Systems) porque incluye algunas funcionalidades que asisten a los técnicos durante los procesos de toma de decisiones. La arquitectura del sistema se define en tres niveles o capas (Fig. 2), tal como se ha propuesto en el trabajo Yao and Yao (2003). Las distintas capas son:

1. El nivel de interfaz (interface layer) se ocupa del intercambio de información a través de páginas web entre los usuarios del sistema: técnicos y coordinadores.
2. El nivel de gestión (management layer) combina el conjunto de servicios basados en las distintas funcionalidades orientadas a los diferentes tipos de usuarios y facilitando que las operaciones puedan ser realizadas utilizando el sistema de forma unificada. SAIFA ofrece dos modos diferentes de acceso que comparten servicios y bases de datos. El nodo del técnico agrupa las actividades realizadas por los técnicos de campo para gestionar la información relacionada con el protocolo de la RAIF: muestreo de datos y acciones realizadas en los cultivos de olivo. El nodo del coordinador agrupa las actividades realizadas por los coordinadores y controla en tiempo real todos los cultivos de la región utilizando la información recolectada por los técnicos.
3. El nivel de servicios incluye los servicios implementados en SAIFA y se organiza en forma de módulos. Cada servicio utiliza recursos y
 - El servicio de Gestión de la base de datos (Database management) almacenan y gestionan los datos relativos a las inspecciones, las recomendaciones de tratamiento, riesgos detectados o acciones realizadas para controlar el cultivo del olivo.
 - El servicio de Gestión del conocimiento (Knowledge management) analizan los riesgos asociados a cada plaga. Específicamente, la aplicación asesora al técnico de campo sobre la necesidad de realizar un tratamiento cuando el umbral definido en el protocolo se ha superado.

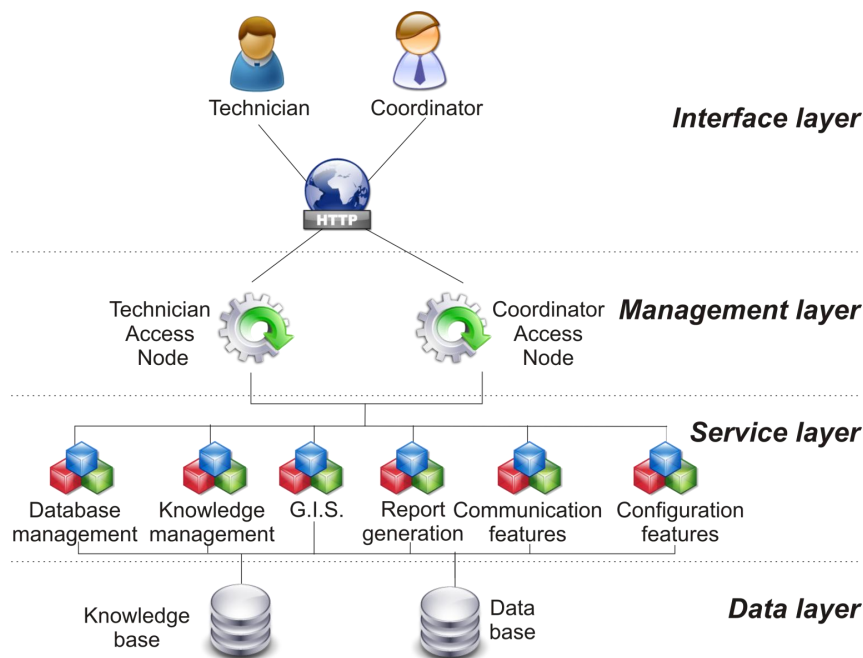


Figure 2: Arquitectura en cuatro niveles de SAIFA

- El servicio GIS (Sistema de Información Geográfica) representa la información almacenada en el sistema mediante mapas interactivos, ofreciendo una herramienta muy intuitiva para controlar el estado del cultivo.
 - El servicio de Generación de informes (Report generation) incluye un conjunto de informes y gráficos predefinidos fácilmente personalizables. Asiste al técnico durante el proceso de elaboración de los documentos entregables acerca de las acciones realizadas en el cultivo, o la de información recogida durante las visitas. En relación con el coordinador, este módulo permite la generación de los informes públicos que se distribuirán a la comunidad olivarera.
 - El servicio de Comunicación (Communication) gestiona las incidencias y preguntas técnicas. Este módulo es un sistema de mensajería restringido a SAIFA
 - El servicio de Configuración (Configuration) permite definir el calendario de muestreo y el flujo de trabajo de control. Al principio de cada campaña agrícola, es posible inicializar el sistema modificando las parcelas, productores y técnicos y realizando la asignación de parcelas a los técnicos que serán responsables de su monitorización.
4. El nivel de Datos (Data layer) almacena todos los datos del sistema. Cabe destacar la sepa-

ración explícita entre la información y el conocimiento, la primera es el conjunto de datos necesarios para crear y modificar acciones (parcelas, técnicos, etc.), mientras que el segundo contiene los modelos de conocimiento aplicado en las tareas de toma de decisiones.

Esta arquitectura ha sido aplicada en la aplicación SAIFA utilizando tecnología Java como lenguaje de programación y Oracle (Oracle, 2010) como gestor de la base de datos. Debido a la complejidad de SAIFA, se ha utilizado JavaServer Faces (JSF). SAIFA se ejecuta sobre Apache Tomcat server (Apache Software Foundation, 2010), desarrollado por Apache Software Foundation como parte del proyecto Jakarta. Este servidor procesa las peticiones de los usuarios y devuelve el código HTML que se representará sobre el navegador Web. Se ha incorporado la funcionalidad Ajax para mejorar la interacción con los usuarios, creando interface más intuitivas y ofreciendo al usuario una aplicación de apariencia similar a las aplicaciones de escritorio. Esto hace que el trabajo diario de los usuarios sea mas fácil y reduce el consumo de ancho de banda entre los usuarios y el servidor en el que se aloja la aplicación.

Desde el punto de vista de los usuarios, SAIFA tiene dos modos de funcionamiento diferentes: uno para el técnico y otro para los coordinadores de la RAIF, que se corresponden con los dos nodos de nivel de Gestión de la arquitectura mostrado en la figura 2). Estos dos nodos se describen con detalle a continuación

3.1. Nodo del técnico

Durante cada campaña, un técnico de la RAIF se ocupa de la supervisión de un grupo de parcelas cuyo número puede variar de entre una o varias docenas. Esta supervisión implica la ejecución eficiente de distintos tipos de tareas. Hay tareas relacionadas con las inspecciones y definición de operaciones que se tienen que realizar periódicamente en el cultivo. Gracias a las tareas de consulta, el técnico obtiene información útil relacionada con las acciones cotidianas relativas a la campaña. Otra tarea importante la relativa a las decisiones que el técnico hace en relación a la necesidad de aplicar algún tipo de tratamiento sobre el cultivo. Para la ejecución de esta tare, SAIFA incorpora un módulo software basado en conocimiento, que aplica técnicas de inteligencia artificial aplicadas a la protección de plagas. Finalmente es muy importante la existencia de un comunicación fluida entre los técnicos y los coordinadores de cada a mejorar la gestión de la producción integrada. Todas estas tareas, implementadas en SAIFA, se describen a continuación.

3.1.1. Tareas de inspección y definición de operaciones

En cada inspección los técnicos visitan la parcela para realizar ciertas acciones. Estas acciones conlleva la anotación de información relativa a la visita y la observación de la plantación siguiendo el protocolo del a RAIF (ver tabla 1). Este muestreo se realiza de acuerdo con un calendario de muestreo definido por el coordinador. SAIFA facilita la introducción de esos datos ofreciendo una interfaz intuitiva, un asistente guía al técnico indicando que datos debe satisfacer según el protocolo y el calendario. Este calendario está supervisado por los coordinadores y si se producen cambios, se refleja en el funcionamiento del asistente.

Ciertas acciones como el riego, poda, laboreo o la recolección son tareas tareas que se realizan periódicamente y que tienen por objetivo mantener el estado sanitario del cultivo. SAIFA permite la gestión de todas estas acciones puesto que mantiene un archivo de todas las actuaciones realizadas durante la campaña.

Los técnicos agrícolas son también responsables de prescribir los tratamientos de cada parcela. Estos tratamientos pueden ser tanto medidas preventivas para evitar la infestación del cultivo,

como actuaciones directas orientas a luchar contra plagas concretas que ya hayan infestado el cultivo. SAIFA ofrece los mecanismos apropiados para permitir al técnico prescribir estos tratamientos, fijando tanto el producto como la dosis. Cada tratamiento creado puede ser guardado en una plantilla y por lo tanto puede ser aplicado sobre otras parcelas en la misma situación.

3.1.2. Tareas de consulta

SAIFA permite el acceso a todos los datos de perfil de cada parcela, que incluye toda la información de interés para el técnico: ubicación geográfica, recintos que la forman, superficie o el último muestreo realizado. También ofrece una previsión climática para los siguientes siete días de la región donde se ubica la parcela. La predicción se obtiene del sitio web de la Agencia meteorológica española AEMET (2010), que permite el acceso libre a todos estos datos, y así la predicción del tiempo es automática y se modifica cada día para todas las regiones de Andalucía registradas en SAIFA. Esta predicción es muy útil cuando el técnico tiene que planificar las inspecciones a realizar en las parcelas que tiene asignadas. La figura 3 muestra el perfil de una parcela cualquiera de un técnico.



Figure 3: Página de información de una parcela

La aplicación hace posible obtener una perspectiva general de todas las parcelas bajo la supervisión de un técnico. Para cada parcela, el sistema ofrece información detallada que nos permite conocer que muestreos se han realizado y cuando. Por lo tanto, se puede determinar fácilmente cual es el nivel de infestación actual de una parcela. Lo que es más, SAIFA incluye una herramienta para analizar la evolución de una plaga específica en un periodo de tiempo para cualquier parcela. La figura 4 muestra un gráfico de evolución de plaga que representa los individuos capturados en las trampas cromotrópicas amarilla para cada muestreo de la mosca del olivo durante la campaña. También es puede obtener un resumen de las operaciones y los tratamientos realizados sobre la parcela, así como si se ha superado el umbral de infestación de una plaga según el protocolo de la RAIF y habilita las opciones apropiadas para prescribir el tratamiento.

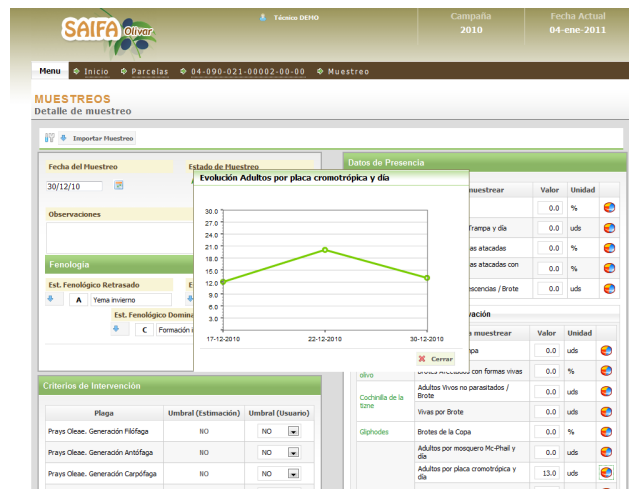


Figure 4: Gráfico de la evolución de la plaga *Dacus Oleae*

La información almacenada en la base de datos de SAIFA sobre los productos fitosanitarios y las plagas permite que los técnicos hagan la recomendación de tratamiento simplemente seleccionando de entre la lista de productos aplicables para tratar una plaga concreta, lo que facilita su trabajo. Lo que es mas desde SAIFA es posible acceder a la información externa relacionada con la biología de los patógenos. Esta información puede ayudar al técnico a identificar la plaga. Así, una vez que la plaga ha sido identificada el técnico puede acceder al vademecum interno de sustancias activas que pueden aplicarse para su tratamiento. La información acerca de una sustancia activa puede ampliarse utilizando los enlaces externos que se facilitan en la aplicación.

3.1.3. Tareas de apoyo a la toma de decisiones

Durante una campaña, el técnico de campo tiene que decidir en muchas ocasiones si es necesario aplicar un tratamiento sobre el cultivo, bien como medida de prevención, bien como medida de control de una plaga o bien ante la falta de efectividad de otro tratamiento anterior.

Se debe destacar que el hecho de super los criterios de intervención (umbrales), solo justifica la posibilidad de realizar una actuación sobre el cultivo pero no es obligatoria. Para tomar la decisión es necesario tener en cuenta otros importantes factores como la evolución de la plaga en la zona, la previsión de tiempo, los datos climáticos de días anteriores o la efectividad del tratamiento de acuerdo con las condiciones de la plaga o de la enfermedad. El técnico, utilizando su conocimiento experto y la información de los factores citados, toma su decisión final.

Un sistema de apoyo a la decisión (DSS- Decision Support System) es de gran ayuda a los técnicos de campo que tienen que decidir acerca de la necesidad del tratamiento. Algunos ejemplos de estos sistemas aplicados a la agriculturas son Shaffer and Brodahl (1998), Lilburne et al. (1998), Badjonski and Ivanovi (2000) y Gonzalez-Andujar et al. (2006). Estos trabajos aplican técnicas de inteligencia artificial a las principales tareas de producción agrícola: diagnóstico de plagas y enfermedades, análisis de condiciones climáticas, aplicación de fertilizantes, control de riego, etc.

Los sistemas DSS sobre Internet suelen ser adaptaciones cliente-servidor a la web, (Kristensen and Rasmussen, 2002). En los últimos años, muchos se ha desarrollado numerosos sistemas

basados en conocimiento que se han beneficiado de las prestaciones de Internet. Algunos ejemplos del dominio agrícola son los trabajos presentados por [Jensen et al. \(2000\)](#), que muestra un sistema de ayuda a la decisión para seleccionar las mejores variedades para los principales cultivos de Dinamarca; Beck. (2001) presenta un conjunto de ejemplos de aplicaciones que utilizan una arquitectura distribuida; y GyMEs (Gypsy Moth Expert System) ([Potter et al., 2000](#)) es un sistema experto Web para la evaluación del riesgos causado por gypsy moth, una plaga con una alta incidencia en los bosques de Norte América.

De entre las técnicas de inteligencia artificial, las redes bayesianas ([Pearl, 1988](#); [Cowell et al., 1999](#); [Jensen and Nielsen, 2007](#); [Kjaerulff and Madsen, 2008](#)) permiten la representación gráfica y concisa del conocimiento del decisor en un dominio con incertidumbre. Esta técnica ha sido elegida para la gestión del conocimiento del módulo de DSS que nos permitirá saber si es necesario realizar un tratamiento o no.

Formalmente, una red Bayesiana está formada por un conjunto de variables $\mathbf{V} = \{V_1, \dots, V_n\}$ que forman un grafo dirigido acíclico cuyos vértices son las variables \mathbf{V} , además se la red contiene un conjunto de distribuciones de probabilidad condicionada $p(v_i|pa(v_i))$ para cada variable V_i dada y el conjunto de sus padres $pa(V_i)$. Una red Bayesiana puede utilizarse como predictor con sólo considerar una de las variables como clase y las otras como variables predictoras (características o propiedades que describen el objeto que tiene que ser clasificado). La predicción se obtiene mediante la propagación de las probabilidades: la probabilidad a posteriori de la clase se computa según las características observadas.

En el caso de SAIFA, la predicción determina si tratar el patógeno que ha excedido el umbral. El valor asignado a la clase es aquel que obtiene la mayor probabilidad a posteriori. La aplicabilidad de esta técnica para la estimación del nivel de infestación de la mosca del olivo ha sido demostrada en [Sagrado and del Águila \(2007\)](#). Este trabajo evalúa la aplicación de las técnicas basadas en conocimiento al problema del control fitosanitario de la mosca. Este tipo de técnicas ha probado su validez y efectividad. Para el caso de los datos históricos de la RAIF, los mejores resultados fueron los obtenidos por los predictores basados en redes bayesianas.

Para poder incluir esta funcionalidad en la aplicación SAIFA, se han utilizado un gran conjunto de datos agrobioclimáticos. Los datos recogidos durante 10 años por un equipo formado por más de 40 personas dedicadas a la observación de las plagas siguiendo el protocolo de la RAIF. Los experimentos realizados han utilizado estos datos para el aprendizaje de los modelos de redes Bayesianas que nos permiten obtener los valores de predicción. En lugar de hacer los experimentos separando entre datos de aprendizaje y de prueba, se han hecho los experimentos con 10 validación cruzada. Es decir, el conjunto completo de los datos se ha dividido en 10 subgrupos de datos, nueve se han utilizado como conjuntos de aprendizaje y el resto como prueba. En una primera etapa el modelo ha sido aprendido de los conjuntos de aprendizaje y después el conjunto de prueba se ha utilizado para la evaluación del predictor obtenido. Este proceso se repite diez veces.

La figura 5 describe uno de los modelos obtenidos. Esta red bayesiana representa la necesidad de tratamiento (nodo Treat) para la mosca del olivo *Dacus Oleae*. En este caso el resultado final depende de tres valores diferentes de la fenología (EF-, EFD and EF+), el mes actual (Moth), el número de individuos medido en cada trampa (Captures), la presencia de picadas en los frutos (Presence) y una variable que indica si el cultivo ha sido tratado previamente en la misma campaña (Treated).

El servicio basado en conocimiento de SAIFA tiene dos fases. En la primera, los valores obtenidos durante las tareas de inspección se definen como entrada al modelo. En la segunda se lanza el proceso de inferencia para obtener la predicción que indica si es necesario realizar el

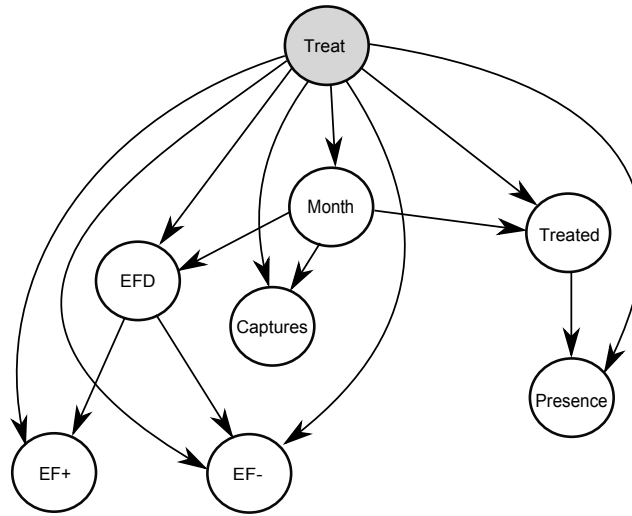


Figure 5: Red bayesiana para predecir el riesgo de Dacus Oleae

tratamiento en ese caso. Para realizar este proceso utilizamos Elvira (Elvira, 2010), una librería de software en Java que permite la construcción y evaluación de redes Bayesianas.

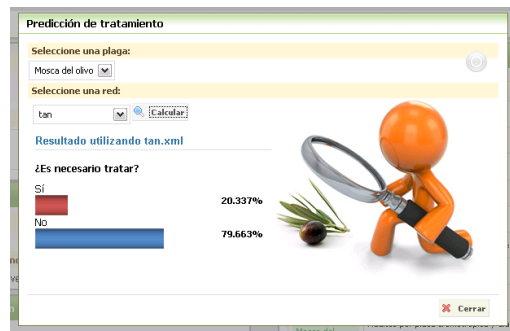


Figure 6: Recomendación de tratamiento hecha por SAIFA

Una vez que se completa el muestreo de una parcela, el técnico puede lanzar la ejecución del proceso de inferencia para uno de los modelos de red bayesiana disponibles para una plaga concreta. La figura 6 muestra los resultados devueltos por SAIFA para la plaga de la Dacus Oleae, utilizando la red de la figura 5. El valor de porcentaje mostrado como Si / No indica la necesidad de aplicar un tratamiento o no.

3.1.4. Tareas de comunicación

La aplicación SAIFA incorpora otras funcionalidades útiles que permiten que los técnicos de campo tengan una comunicación fluida con los coordinadores. Se han definido dos líneas de comunicación la primera es un sistema de seguimiento que permite a los técnicos comunicar cualquier problema, sugerencia o duda relacionado con la utilización de la aplicación y la segunda

es un formulario que el técnico puede utilizar para enviar cualquier tipo de consulta relativa a las normas y reglamentos definidos en la RAIF. Estos mensajes son recibidos por los administradores o coordinadores y las respuestas se envían utilizando la misma plataforma.

Además, se ha incorporado un sistema de notificación para que los coordinadores envíen noticias, avisos, o cualquier otro tipo de información se crea oportuno para el desarrollo de la actividad diaria realizada por los técnicos relacionada a cambios en el protocolo, información sobre plagas, etc.

3.2. Nodo del coordinador

Los coordinadores de la RAIF se ocupan de monitorizar y controlar los cambios de estado de los cultivos y de asegurarse el cumplimiento de las normas de la producción integrada. Su trabajo se basa en la información obtenida por los técnicos de toda la región. Estudiando esta información los coordinadores deciden si es necesario realizar alguna tarea preventiva o lanzar algún tipo de alerta. SAIFA se utiliza para procesar y analizar la información relativa a este nivel de decisiones tácticas. La aplicación es capaz de generar informes que resuman los valores recolectados y sus resultados pueden reenviarse a los técnicos de campo (vía publicación web), o las autoridades de rango superior.

SAIFA funciona como herramienta de soporte para las tres tareas principales de los coordinadores:

- Las tareas de configuración de una campaña y de las inspecciones periódicas. Estas tareas consisten en la selección e inicialización de las parcelas que formarán las estaciones de control y la configuración de la información que será recogida en cada sesión de inspección.
- Tareas de explotación. Estas tareas se ocupan de realizar el análisis de la información obtenida en cada inspección y de tomar las decisiones apropiadas.
- Tareas de alerta. Estas tareas son las relacionadas con el envío de alertas a la comunidad oliverera.

3.2.1. Tareas de configuración

Antes del inicio de cada nueva campaña es necesario definir las estaciones de control (parcelas y recintos a inspeccionar), los propietarios de cada parcela y los técnicos responsables de las inspecciones. También se tiene que definir el plan de muestreo seguido durante la campaña, indicando que plagas serán observadas y las acciones que tienen que realizar los técnicos de campo. También se especifica la lista completa de productos fitosanitarios que el técnico de campo puede utilizar para cada plaga y que debe ajustarse a la regulación y normativa aplicable (reglamentos específicos de la Producción Integrada)

El plan de muestreo o calendario de muestreo puede ser revisado por los coordinadores en cualquier momento durante toda la campaña. Los factores climáticos como la lluvia, el viento o importantes variaciones en la temperatura, pueden provocar cambios en este calendario. Los cambios hechos en el plan de muestreos afectan al nodo del técnico, para asegurarse que así se cumple el protocolo.

Mediante las tareas de configuración los coordinadores pueden ajustarse a los posibles cambios en los reglamentos. SAIFA puede afrontar cambios relativos a: ajustes del calendario de muestreo (tal como se acaba de mencionar), los umbrales asociados con la presencia de cada plaga o la lista de productos fitosanitarios. Los coordinadores pueden ajustar fácilmente los umbrales asociados a la presencia de cada plaga; para ello acceden a la opción de criterios de intervención de la plaga (Fig. 7) y modificar el valor o bien definen una nueva variable a muestrear y su umbral.

SISTEMA DE INTERVENCIÓN

Criterio nº 6 - Bactrocera Oleae

Datos Umbral

Umbral

20	Hembras fértiles	> 60.0	%	Editar	Eliminar
21	Frutos picados con formas vivas	> 2.0	%	Editar	Eliminar

Incluir nuevo umbral

Agente

Mosca del olivo

Tipo de muestreo

Hembras fértiles (%)

Operador / Valor

Mayor que 60.0

Guardar como nuevo Modificar

Cerrar

Figure 7: Modificación de umbral asociado a los valores a muestrear para un plaga

3.2.2. Tareas de explotación

La producción integrada gestiona una gran cantidad de datos de parcelas geográficamente dispersas. La mayor parte de esos datos pueden georreferenciarse, lo que ofrece la posibilidad de hacer un análisis acerca de la presencia de la plaga, de su evolución temporal y de los tratamientos aplicados. SAIFA incorpora estas utilidades en un GIS, que permite la representación geográfica de parcelas de una región específica donde:

- el nivel de infestación de una plaga supera ciertos límites.
- se detecta el ataque de una plaga.
- se ha aplicado un producto fitosanitario

El GIS ha sido desarrollado utilizando Google Maps API, un servicio gratuito auspiciado por Google Inc que ha experimentado una gran popularidad en los últimos años y que permite la inclusión de mapas interactivos en aplicaciones web, donde se puede utilizar zoom o incluir información contextual. La posibilidad de realizar una representación visual de los datos es de gran utilidad sobre todo para la realización de las tareas de alerta. Las prestaciones GIS de la aplicación ofrecen a los coordinadores una perspectiva global del cultivo del olivo en toda la región andaluza y les permite definir secuencias temporales de la evolución de las plagas (8).

3.2.3. Tareas de alerta

Durante una campaña, los coordinadores se ocupan de enviar las alertas a la comunidad olivarera. SAIFA permite revisión en tiempo real de los datos obtenidos por los técnicos de campo durante sus tareas de inspección. Si uno de los valores excede el umbral especificado por los coordinadores, el sistema envía una alerta a un grupo de personas que ha sido previamente establecido. Esta funcionalidad ayuda a los coordinadores a detectar anomalías que pueden aparecer durante los procesos de entrada de los datos con el objetivo de detectar lo antes posible cualquier infección en la zona.

Para definir una alerta, lo primero que hace el coordinador es definir el área geográfica a la que se aplicará la alerta. Esta área puede cubrir una región, una provincia o un municipio. Después

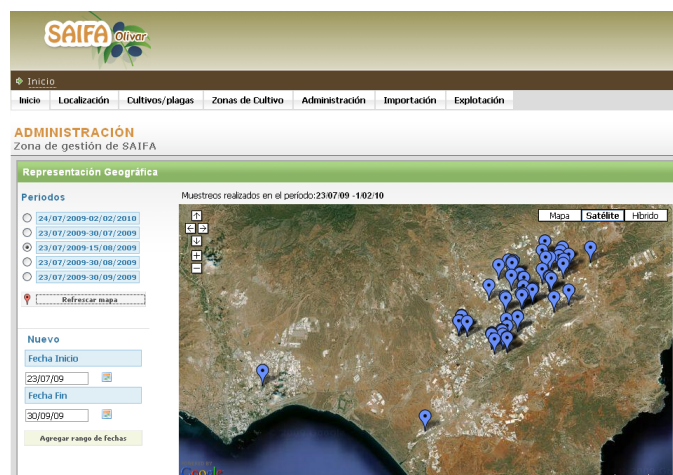


Figure 8: Representación de la evolución de un plaga

define el umbral de presencia de los patógenos a vigilar. Finalmente se designa el grupo de personas que recibirán la alerta si esta se dispara. Esta notificación puede enviarse por email o SMS

4. Evaluación

La evaluación de SAIFA se ha realizado a través de un proceso de revisiones y cuestionarios. Un grupo de técnicos, en los papeles de técnico de campo y de coordinador, han participado en la evaluación, ofreciéndoles un entorno real puesto que se ha dado de alta parcelas de los municipios de Tabernas, Tahal y Uleila del Campo, todos ellos de la provincia de Almería en Andalucía. Las parcelas se han asignado a los técnicos que ha simulado todas las tareas (inspecciones, definición de operaciones, consulta, proceso de toma de decisiones y tareas de comunicación). Los coordinadores han accedido a todas las tareas de monitorización y control para todas las parcelas del sistema. Después de un periodo de 7 días de prueba, se han liberado los cuestionarios de evaluación. Estos cuestionarios están formados por 34 preguntas clasificados en seis grupos. Cada cuestión debe ser evaluada de 1 a 5, donde 1 representa "totalmente en desacuerdo" y 5 "totalmente de acuerdo". Las preguntas se han formulado para medir el grado de satisfacción con respecto a la navegación entre páginas web, funcionalidad, facilidad de aprendizaje, rendimiento, interfaz y la validación de datos.

El feedback obtenido de esta evaluación ha sido positivo (73% de la valoración total). La mayor parte de los datos negativos han sido causados porque algunas de las opciones no estaban lo suficientemente visibles o que su descripción era ambigua, así como por algunos errores relativos a la validación de los datos de entrada. Estos problemas han sido corregidos. La mayoría del los usuarios consideran que SAIFA es una aplicación intuitiva (76%), sin embargo, un alto porcentaje (65%) indica que SAIFA debería tener una ayuda en línea para facilitar la utilización de la aplicación. En relación con las características de la aplicación, las funcionalidades relativas al calendario de muestreo y a la mensajería de comunicación han sido altamente valoradas (71% y 64%, respectivamente). Los coordinadores han asignado una evaluación muy positiva a las

funcionalidades de configuración de la campaña (72%) y al análisis de la evolución de las plagas (65%), pero consideran que al sistema le faltan funcionalidades para la generación de nuevos informes.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta la aplicación SAIFA, para el asesoramiento en el seguimiento del protocolo de la producción integrada sobre el cultivo del olivar en Andalucía (Orellana et al., 2011). Este software ha sido desarrollado como una aplicación basada en Web para favorecer el acceso desde cualquier ubicación geográfica, y por lo tanto, hacer más fácil el trabajo de los técnicos de campo y de los coordinadores. La validación se ha realizado con la intervención de un grupo de potenciales usuarios que han detectado las debilidades del sistema y han facilitado la definición de las acciones de mejora. SAIFA ofrece tanto a técnicos como coordinadores una plataforma común para desarrollar todo en control del cultivo durante cada campaña.

En el caso de los técnicos de campo, la aplicación facilita el cumplimiento de los reglamentos y normas definidas en el protocolo de la RAIF, en concreto en las tareas de inspección y prescripción de tratamientos. Se ha construido un DSS que utiliza un modelo de red bayesiana para asistir a los técnicos de campo cuando tienen que tomar la decisión de acerca de si prescribir un tratamiento contra una plaga. En relación con los coordinadores, SAIFA permite configurar cada campaña y las inspecciones periódicas, el análisis de la información y el envío de alertas a la comunidad olivarera. También se ha incluido facilidades GIS para la representación visual mediante mapas que ofrecen a los coordinadores una perspectiva global de cultivo del olivo en toda la región andaluza. Como resultado de la evaluación, la interfaz y algunos errores menores en la introducción de datos han sido corregidos.

References

- AEMET, 2010. Agencia Estatal de Meteorología (available from <http://www.aemet.es>).
- Apache Software Foundation, 2010. Apache tomcat servlet/jsp container (available from <http://tomcat.apache.org/>).
- Badjonski, M., Ivanovi, M., 2000. A multi-agent system for the determination of optimal hybrids in crop production. *Computers and Electronics in Agriculture* 25 (3), 233-243.
- Beck, H., 2001. Agricultural enterprise information management using object databases, java, and CORBA. *Computers and Electronics in Agriculture* 32 (2), 119-147.
- Blauth, D.A., Ducati, J.R., 2010. A web-based system for vineyards management, relating inventory data, vectors and images. *Computers and Electronics in Agriculture* 71 (2), 182-188.
- Cañadas, J., del Águila, I.M., Bosch, A., Túnez, S., 2002. An intelligent system for therapy control in a distributed organization. In: Shafazand, H., Tjoa, A.M. (Eds.), *EurAsia-ICT 2002: Information and Communication Technology, Lecture Notes in Computer Science, Volume 2510/2002*, Springer Berlin-Heidelberg, pp. 19-26.
- Cowell, R.G., Dawid, A.P., Lauritzen, S.L., Spiegelhalter, D.J., 1999. *Probabilistic Networks and Expert Systems*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Elvira, 2010. Elvira system (available from <http://leo.ugr.es/elvira/>).
- Gliessman, S.R., 2006. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*, Second Edition. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Gonzalez-Andujar, J.L., Fernandez-Quintanilla, C., Izquierdo, J., Urbano, J.M., 2006. SIMCE: an expert system for seedling weed identification in cereals. *Computers and Electronics in Agriculture* 54 (2), 115-123.
- IOC, 2009. International olive council (available from <http://www.internationaloliveoil.org>).
- Jensen, A.L., Boll, P.S., Thysen, I., Pathak, B.K., 2000. PI@nteInfo a web-based system for personalised decision support in crop management. *Computers and Electronics in Agriculture* 25 (3), 271-293.
- Jensen, F.V., Nielsen, T.D., 2007. *Bayesian Networks and Decision Graphs*. Springer-Verlag, New York.
- Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 2009. *Guía de producción integrada* (available from <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca>).

- Kjaerulff, U.B., Madsen, A.L., 2008. Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis. Springer-Verlag, New York.
- Kristensen, K., Rasmussen, I.A., 2002. The use of a bayesian network in the design of a decision support system for growing malting barley without use of pesticides. Computers and Electronics in Agriculture 33 (3), 197-217.
- Lilburne, L., Watt, J., Vincent, K., 1998. A prototype DSS to evaluate irrigation management plans. Computers and Electronics in Agriculture 21 (3), 195-205.
- MAPA, 2009. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (available from <http://www.mapa.es/es/agricultura/agricultura.htm>).
- Oracle, 2010. Oracle relational database management system (available from <http://www.oracle.com/us/products/database>).
- Orellana, F.J., del Sagrado, J., del guila, I.M., 2011. SAIFA: A web-based system for Integrated Production of olive cultivation. Computers and Electronics in Agriculture, 78 (2), 231-237.
- Pearl, J., 1988. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA.
- Potter, W.D., Deng, X., Li, J., Xu, M., Wei, Y., Lappas, I., Twery, M.J., Bennett, D.J., 2000. A web-based expert system for gypsy moth risk assessment. Computers and Electronics in Agriculture 27 (1-3), 95-105.
- RAIF, 2010. Red de Alerta e Información Fitosanitaria de Andalucía (available from <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/raiff/>).
- del Sagrado, J., del Águila, I., 2007. Olive fly infestation prediction using automatic learning techniques. In: Borrajo, D., Castillo, L., Corchado, J. (Eds.), Current Topics in Artificial Intelligence, Lecture Notes in Computer Science, Volume 4788/2007, Springer Berlin-Heidelberg, pp. 229-238.
- Shaffer, M.J., Brodahl, M.K., 1998. Rule-based management for simulation in agricultural decision support systems. Computers and Electronics in Agriculture 21 (2), 135-152.
- Xia, Y., Guru, S., VanKirk, J., 2009. pestMapper – A internet-based software tool for reporting and mapping biological invasions and other geographical and temporal events. Computers and Electronics in Agriculture 69 (2), 209-212.
- Yao, J.T., Yao, Y.Y., 2003. Web-based support systems. In: Yao, J.T., Lingras, P. (Eds.), Proceedings of 2003 WI/IAT Workshop on Applications, Products and Services of Web-based Support System (WSS 2003), Saint Marys University, Canada, pp. 1-6.